公众科学情境下科学素养研究:全球进展及我国启示*

■ 徐孝娟[1] 吴曼丽[2] 邓金雨[1] 赵宇翔[3]
[1] 安徽大学管理学院 合肥 230039 [2]华中科技大学新闻与信息传播学院 武汉 430074
[3] 南京理工大学经济管理学院 南京 210093

摘 要:[目的/意义]对国外现有研究进行分析总结,旨在厘清公众科学情境下科学素养的内涵、理论、工具方法及影响因素,为我国相关研究的开展提供指导。[方法/过程]基于主题内容分析法,探索目前公众科学情境下科学素养相关理论成果。[结果/结论]研究发现:公众科学情境下科学素养内涵可划分为"大素养观"和"小素养观";科学素养测量指标主要集中在知识、理解、态度维度,方法上涉及定性、定量、及定性定量结合,为提高测量灵敏性,部分学者引入教育学、行为学、信息学等领域理论自行开发测量工具;科学目标和教育目标的平衡是一个动态发展过程,科学素养的影响路径尚未形成比较完善的模型体系。通过对上述研究的总结述评,建议我国公众科学情境下科学素养的研究可从对象、工具、因素及外部环境维度等方面展开后续工作。

关键词:公众科学 科学素养 教育目标 科学目标 非正式教育
分类号:G250
DOI:10.13266/j.issn.0252-3116.2021.11.013

1 引言

科学技术的进步极大地改变了并将继续改变当代社会生活和世界的面貌,公众将面对日益增多的科学内容和科学问题;与此同时,在数字化时代错误和虚假信息的传播将对信息资源配置、公众卫生、环境保护、社会安全以及社会凝聚力造成重大威胁。在面对上述问题和威胁时,需要具有科学素养的公民参与批判性地解构虚假信息和伪科学信息,做出正确合理的科学判断。例如,面对突如其来的新冠疫情,公众抢购双黄连系列产品这一现象正是缺乏科学素养的缩影。尽管科技在我们的生活中扮演着如此重要的角色,然而普通公众却感觉自己与科学相距甚远,这是由于公众对于科学、科技的理解大多来源于"科学理论""科技产品",而对于科学、科技项目的参与较少。欧盟议会于2019年3月发布的《作为教育挑战的科学和科学素养》报告指出,公民科学素养的培养需落实到"应对广泛传播的错误信息、在科学教育中支持创新和终身学习、采用多种方法和多学科共同培养、参与式研究与开放性科学"等核心方面[1]。由此可见,在科技持续发展和数字化浪潮的推动下,公众的科学素养培养有了新的挑战和目标。

目前,我国科学素养培养主要依托学校科学教育,如王春丽和顾小清、Y. Wang、严晓梅等对学校教育中科学素养的内涵、指标、测量、影响因素、培养途径、科学课程设置等相关理论与实践做出了深入的探索[2-4],笔者发现,目前我国研究和应用对象多面向青少年群体,对于儿童和成人科学素养的培养,尚缺乏有效的科学普及措施;与此同时,尽管我国青少年科学知识的掌握程度较好,但他们缺乏科学参与和对科学相关职业的理解;此外,较之竞赛类、普及类、科普类等非正式教育项目,参与贡献式的公众科学项目,具有任务属性多元、用户规模大、无竞赛压力、任务培训、良好的传播互动性和主体参与式等优势,在提升公众科学素养、激发创新动力方面发挥了重要作用,如英国皇家学会、德国马普学会、美国科学促进会等科学机构,联合高校、社会组织等开展了诸如 Cornell Lab of Ornithology、Transcribe Bentham、Galaxy Zoo 等公众科学系列项目,项目不仅涉及自然科学学科,还包括人文社会学科[5-7]。综上所述,我国亟需新的科学素养培养途径

* 本文系国家社会科学基金青年项目"数字人文视角下特藏资源建设的众包模式驱动因素与激励设计研究"(项目编号:17CTQ001)研究成果之一。
作者简介:徐孝娟(ORCID:0000-0003-1644-7352),副教授,博士;吴曼丽(ORCID:0000-0001-7711-9729),讲师,博士,通讯作者,E-mail:mlwu@hust.edu.cn;邓金雨(ORCID:0000-0001-5717-6072),本科生;赵宇翔(ORCID:0000-0001-9281-3030),教授,博士生导师。
收稿日期:2020-11-12 修回日期:2021-03-01 本文起止页码:123-132 本文责任编辑:徐健

来弥补当前理论与实践的不足,公众科学(Citizen Science)作为大量科学爱好者、志愿者参与到科学研究过程的全新科研范式[8],参与人员在参与公众科学项目过程中能够掌握科学知识和方法,树立科学态度,在科学实践中创新发展和终身学习,增强对科学过程的理解及参与度,这一非正式学习模式,可以保障所有年龄阶段的参与式科学,对于提升公众科学素养是一种可行且有效的途径。

在我国,公众科学项目正不断推进,如公众超新星搜寻、上海图书馆历史文献众包、带豹回家、白鸟湖湿地保护等实践项目;公众科学的文献研究主要关注项目框架设计、参与行为、任务评估[9-12]等,公众科学项目中开展科学素养的研究有限。虽然赵宇翔[13]、金瑛等[14]指出公众科学中开展科学素养培养的重要性,但目前为止我国对依托公众科学项目开展科学素养的研究尚缺乏相关的实践及理论探索,制约了我国公众科学情境下科学素养的发展。与此同时,作为学校教育的补充,我国辅助性开展科学讲座、科普书展、科技展览、互动体验等非正式学习项目,然而对于该情境下科学素养的影响因素、测量等缺乏进一步研究,未形成系统的研究框架,不能很好地指导国内公众科学情境下的科学素养研究。较之国内,国外学界依托相应实践项目对公众科学情境下科学素养的内涵、测评工具以及影响路径等展开了探索[5-7],为推进公众科学素养的培养提供了理论依据。综上所述,作为参与式、开放式和终生教育式的科学参与范式,公众科学项目在国外的成功实施及理论成果可为我国科学素养教育的研究与实践提供参考。鉴于此,本文研究主要来自于外文文献,以 citizen science、participant、citizen 与 scientific literacy、science literacy、scientific quality 以及与科学素养的二级指标诸如科学词汇(vocabulary of science, science content)、科学探究的理解(understanding of scientific inquiry, nature of science)及科学态度(attitudes towards organized science and knowledge, attitudes towards science)等进行组合形成主题词或标题词进行文献检索,再进行人工筛选和剔重,同时采用追溯法获取文献,截至2020年10月29日,最终获得代表性文献共156篇,其中期刊论文126篇,会议论文17篇,其他文献13篇。笔者从科学素养内涵、测量、影响因素等现有研究进展进行分析总结,以期为我国开展后续工作提供参考,为国内同仁从全局角度理解该领域提供线索和洞见。

2 公众科学情境下科学素养内涵

2.1 现代科学素养内涵

(1)现代科学素养内涵分析。“科学素养”是由美国学者在1966年根据战后二十年的文献调查凝练而来,具体包括概念性知识、科学的理智、科学的伦理、科学与人文、科学与社会、科学与技术,该界定被认为是现代“科学素养”内涵的基础[15]。目前,国际上对科学素养内涵的界定因研究对象、研究情境、研究层面聚焦的差异而有所不同,代表性文献如下:J. D. Miller 基于科技变化对社会的影响,提出了科学素养三维度模型,分布为科学词汇(vocabulary of science, science content)、科学探究的理解(understanding of scientific inquiry, nature of science)及科学态度(attitudes towards organized science and knowledge, attitudes towards science)[16-17];M. Pella 和 A. Other 提出经验主义科学素养,强调以人为中心,指出公众的科学素养应能够理解科学基本概念、科学本质、科学与人类的关系、科学与技术之间的关系、科学与社会的关系以及科学家工作伦理道德[18];B. Shen 基于研究内容将科学素养划分为3类:实践科学素养、文化科学素养和公众科学素养[19];C. Rudiger 聚焦为4类“利益群体”:科学教育团体、社会科学家和民意研究者、科学社会学家和科学教育者以及参与科学交流的大众,指出不同利益群体关注不同维度的科学素养,如社会科学家和民意研究者关注从科技政策问题角度,科学社会学家和科学教育者采用社会学方法进行科学素养研究[20]。学者们对科学素养的划分虽有不同,但对于科学素养核心包括“了解必要科学知识,具备基本科学过程的理解,崇尚科学态度的解读”达成了共识。

(2)科学素养术语使用。国外学者科学素养术语的使用主要为 scientific literacy、science literacy 和 scientific quality,以 scientific literacy 作为更加宏观的科学素养概念(J. D. Miller[16];B. Shen[19];J. Maienschein[21]),science literacy 作为更加具体的或者知识层面概念,如 B. Shen 将 scientific literacy 作为高于 science literacy 的概念使用,在提出科学素养内涵的概念时使用 scientific literacy,具体到科学素养的3个子内容维度-实践科学素养(practical science literacy)、文化科学素养(cultural science literacy)和公众科学素养(civic science literacy),使用 science literacy[19];J. Maienschein 将 scientific literacy 定义为对科学的推理过程和程序的理解,将 science literacy 定义为对孤立科

学事实的知识[21]。通过 CNKI 翻译助手查阅我国学界上述 3 种术语翻译皆有，其中以 scientific literacy 居最，其次为 science literacy，scientific quality 最少，通过对国内文献的查阅，三者内涵基本一致。较之前二者，scientific quality 在文献中出现的频率较低，结合文献搜索，该术语和公众科学情境下科学素养文献相关性较低，故本文不再考虑。

2.2 公众科学情境下科学素养内涵

公众科学情境下的科学素养是公众参与科学项目，完成科学任务目标过程中的另一重要产出。公众科学最初以科学目标为导向，旨在将参与者的发现用于科学活动，随着公众科学项目的开展，参与者在完成科学任务的同时，还能够掌握该学科领域相关知识、了解学科最新动向，实现了教育目标；科学素养作为教育目标效果最重要的体现之一，它的提升一方面可以有效改善参与者完成公众科学项目的质量和公众科学素养的教育效果，平衡公众科学项目的科学目标和教育目标[22-23]，另一方面可促进参与者持续参与项目，形成良性循环，并在科学实践中支持创新和终身学习。笔者通过对公众科学情境下科学素养文献的阅读剖析，结合公众科学项目中科学素养呈现的特点，根据内涵的范围大小，将当前研究中科学素养分成以下两类：泛化的科学素养内涵（大素养观）和具体的科学素养（小素养观）。大小素养观既有相似之处，也存在差异。

（1）相似表现。第一，在目标上，二者均涉及到科学目标和教育目标的平衡，公众在参与公众科学项目中完成科学任务，同时伴随着个人创作过程、与他人互动等，与“公民参与”“开放科学”“情境化”“互动式”等概念紧密联系；第二，在术语使用上，二者涉及的二级指标术语单词上基本一致，主要为：understanding of science content、understanding of science process、attitudes toward science、skills for conducting science、interest in science、attitudes towards science and epistemological beliefs、science vocabulary knowledge 、science process understanding 等，公众科学情境下大、小素养观的核心术语均为知识、理解、态度等，部分文献涉及到科学兴趣、认识、经验等。

（2）差异表现。第一，在目标上，大素养观为更加泛化的一般性的科学素养培养，小素养观则更加具体的素养培养；第二，在术语使用上，主要体现在一级指标术语使用，大素养观如 R. Bonney 等在研究中仍沿用“scientific/science literacy”[24]，小素养观，在文献研究中根据研究情境使用生态素养（ecological literacy）[25]、生物多样性素养（biodiversity literacy）[26]、环境素养（environmental literacy）[23]、保护素养（conservation literacy）[22]、计算与互联网素养（computing & internet literacy）[27]、数字素养（digital literacy）[28]等概念，情境、领域更加具体；第三，在测量上，二者的量表内容设置差异较大，前者侧重宏观的一般性的科学，科学素养指标测量的内容也倾向于一般、泛化的科学知识、理解及态度等变化，后者更侧重于具体情境的科学领域，如生态素养，关注与生态相关的内容，测量指标也为生态情境下知识、能力、技术、理解等的变化，更加具体。值得注意的是，上述两种概念在文献研究中并不是完全割裂使用，部分文献虽然使用 scientific/science literacy，但量表内容根据依托的公众科学平台做出具体的调整。

综上所述，可得到科学素养、公众科学任务、科学目标和教育目标之间的相互关系，具体如图 1 所示：

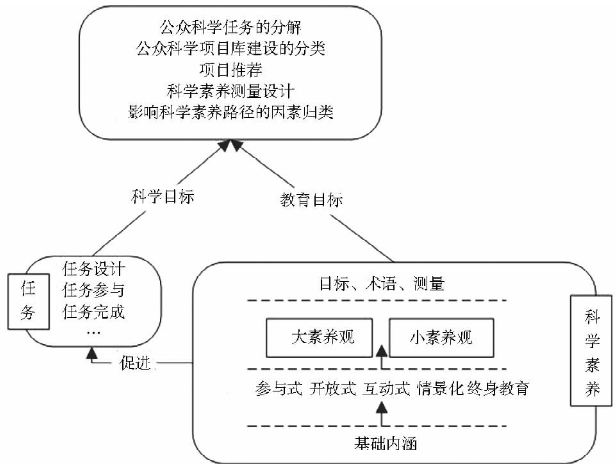


图 1 公众科学情境下科学素养内涵解析

第一，科学素养→教育目标，科学素养作为公众科学项目中教育目标效果最重要的体现之一，其内涵在袭取“现代科学素养内涵”的同时，具有主体参与式、开放式科学研究、互动式、情境化科学理解和终身教育等特点。在此基础上，根据内涵的范围大小，可划分为泛化的科学素养内涵（大素养观）和具体的科学素养（小素养观），二者的异同主要体现在目标、术语、测量方面；第二，科学素养→任务，科学素养的提升可以促进整个科学研究的过程，保证任务完成质量；第三，任务→科学目标，公众科学旨在将志愿者的发现用于有意义的科学目标用途，完成任务是公众科学最初开展的目的，即科学目标；第四，科学目标和教育目标的组合，可以突破“任务驱动、目标导向”的已有设计模式，保证公

众科学项目中科学目标和教育目标的平衡,更加细粒度地解决公众科学任务分解、公众科学项目库建设分类、项目推荐等问题,更加精准地进行科学素养测量工具的开发以及科学素养路径的影响因素的探索。

3　公众科学情境下科学素养测量分析

科学素养的测量对于测评公众科学项目教育绩效产出,获取企业、政府等机构的基金支持以及设计科学素养培养的框架等至关重要。学界对于公众科学情境下科学素养的测量进行了理论借鉴、构建及应用的探索,项目发起者涉及高校、医院、研究所、政府、社会化媒体等,研究以欧美国家机构为主,中国台湾有所涉及,国内学者、机构参与仍有待加强;文献期刊主要分布在教育学(如 Science Education、International Journal of Science Education 等)、科学传播(如 Public Understanding of Science、Journal of Science Communication 等)、环境保护与生态学(如 Conservation Biology、Bio-Science 等)以及信息计算(Human Computation、Information Technology 等)等领域;作者学科背景既包括天文学、生物学、鸟类学、医疗卫生、自然资源管理等自然科学专家,还包括社交媒体研究、科学教育、情报科学、心理学和教育、教育学和教育等教育信息人文方面的学者,文献期刊分布和学者学科背景表明,在公众科学的开展中,学者从科学目标和教育目标两个角度均展开了探索;公众科学项目从 The Birdhouse Network (TBN)、CitizenSky、新英格兰的植物保护项目、台湾陆蟹项目以及荷兰 Zoemt 等传统类型的公众科学项目到 Old Weather、Transcribe Bentham(边沁手稿转录)等数字人文性质的公众科学项目。

笔者从公众科学项目多元化的角度,包含传统自然科学和人文社会科学,选出紧密相关的 9 篇代表性文献,对文献涉及的项目、理论、工具、方法、科学素养测量指标及结论等进行分析。代表性文献具体如表 1 所示:

表 1　公众科学情境下科学素养的代表性文献

文献	CS 项目	主要理论、工具	研究方法	科学素养测量	结论
D. Brossard 等[29]	TBN	①详尽可能性模型、体验教育理论;② ATOSS;MATOSS;NEP	前-后测验;封闭式问题;开放式问题	Scientific literacy:态度、知识、理解	①鸟类生物学知识(显著)、态度(不显著)、科学进程理解(不显著);②引入更加灵敏的工具
R. Jordan 等[22]	新英格兰的植物保护项目	学习理论	开放式问题;科学和专题测验	Conservation literacy:知识、理解、识别能力及意识	知识,显著;理解,不显著;识别能力及意识,显著
R. Cronje 等[30]	入侵植物物种监测项目	①SEI;②多条目特定情境工具	定性上下文项;开放式问题;实验	Scientific literacy[21]	①多条目情境上下文工具,科学素养,显著;SEI 不显著;②具体情境测量工具
A. Crall 等[31]	国家入侵物种科学研究所	①ATOSS;MATOSS;②具体情境对策;③ D. Brossard 等[29]框架	培训前和培训后的评估;开放式的内容	Science literacy:知识、态度、经验	①D. Brossard 等[29]结果不显著;②知识、态度适度显著;③需要替代的调查工具
C. Price 和 H. Lee[32]	天文公民科学项目	①NSKS 框架;②科学态度工具(个人提出)	前-后调查	Scientific literacy:态度、认知、知识	①态度、认知,显著;②知识默认增加,未测
D. Cronin 和 J. Messemer[33]	RRBSA 项目	经验学习理论	重复测量设计;自述调查	Civic Science Literacy:科学词汇知识、科学过程理解	科学词汇知识,显著;科学过程理解,显著
C. Jennett 等[6]	旧天气,抄写边沁等	主题分析	自述;半结构化概念和探测	Scientific literacy:知识、理解	知识显著;理解显著
C. Hsu 等[23]	台湾陆蟹项目	PMM 地图	前-后调查测试	知识、态度(仅研究 2 个维度,Environmental literacy)	①一般评价方法,短期培训不显著;②PPM,知识、态度显著
J. Westland[34]	荷兰 Zoemt 项目	MATS 问卷框架	准实验研究	态度(仅研究一个维度,scientific literacy)	①不显著;②态度的测量是复杂的,更加敏感的工具

备注:为了便于同行学者掌握文献在使用科学素养术语的差异,列 5 直接使用英文,不做翻译

3.1　主要理论、工具和方法

(1)在理论、工具方面,理论主要来自于信息学、教育学、行为学等领域,理论主要用于测量工具的开发,测量工具历经了从标准化测量工具到自行开发测量工具再到标准化测量工具更迭交替探索的过程,已形成的志愿者科学素养测量工具可分为两类:

第一,标准化测量工具。如美国国家科学基金会(NSF)编制的 ATOSS(the Attitude Toward Organized Science Scale);修正的 ATOSS(MATOSS,the Modified Version of the Attitude Toward Organized Science Scale);NEP(the New Environmental Paradigm);MATS (My Attitudes Toward Science);NSKS(the Nature of Scientific

Knowledge Scale)；SEI(Science and Engineering Indicator)等。标准化评估工具面向一般意义的科学素养测量，并非针对公众科学情境设计，学者在应用过程中，对于公众科学素养知识的测量较为理想，能够衡量出前后差异，然而面对复杂的态度、科学进程理解等指标，则测量结果并不理想。

第二，自行开发的测量工具。引入信息学、教育学、行为学等领域理论用于开发公众科学情境下科学素养态度、知识、能力、认知、意识等测量工具，如精细加工可能性模型(the Elaboration Likelihood Model)、体验教育理论(the Theory of Experiential Education)、学习理论(Learning Theory)、多条目特定情境工具(Multi-item Contextual Instruments)、具体情境对策(Context-Specific Measures)、经验学习理论(Experiential Learning Theory)、PMM 地图(Personal Meaning Mapping)等理论模型。自行开发的测量工具，一种是以标准量表作为基础，引入相关领域理论，如 A. Crall 等[31]在 MATOSS 标准化测量工具的基础上，引入具体情境对策理论，发现使用 MATOSS 进行测量，科学素养各指标不显著，改良后的模型，在知识、态度方面适度显著，强调敏感工具开发的重要性；另一种是以相关领域理论作为基础自行开发测量工具，如 C. Hsu 等[23]直接以 PMM 地图进行开发，较之一般评价方法测量短期培训不显著的情境下，PMM 地图测量工具在测量知识、态度方面显著，再次强调自行开发、灵敏工具的意义。

自行开发的测量工具虽然更加灵敏，却难以应用于其他公众科学项目，导致不同公众科学项目之间无法进行研究结果的推广。学者们[30,34]普遍认为如何从自行开发的测量工具再推演到标准化测量工具框架设计，仍然是未来研究的重要方向。

(2)测量方法呈现定性、定量、定性定量结合使用的三元局面，常用的定量方法包括自我报告的调研、内容分析法、前后项目对比调查以及封闭式、开放式问题访谈等；常用的定性方法包括实验测试、准实验、对比测验、科学与专题测验、培训前和培训后的评估以及重复测量设计等。上述方法在文献中一般组合使用，定量和定性结合。

3.2 科学素养测量指标及结论

从表 1 代表性文献测量及结论可知，科学素养测量内容的设置与文献对于科学素养内涵的设定紧密相关，然而测量的二级指标却具有较高的一致性，主要集中在科学知识、科学理解和科学态度 3 个指标。笔者将重点分析上述 3 个指标，目前公众科学项目对科学素养有促进作用，学界已取得了共识，但对于科学素养测量的研究结论尚需进一步探讨。

第一，科学知识包括一般科学知识和关于特定项目的科学知识两个指标，公众科学项目可提升志愿者科学知识，特别是特定项目的科学知识提升明显。如，R. Bonney 对公众科学项目中志愿者的科学素养研究进行了阶段性的总结，通过回顾 10 个不同类型的项目研究，得出志愿者的科学知识在参加公众科学项目后确有提高的结论[24]；C. Evans 开展了一项关于社区鸟巢观察项目中志愿者的科学素养的研究，结果表示，90% 的志愿者都报告自己在参与过程中学到了新东西，即便是最有经验的参与者也表示学习到了新的鸟类知识[35]；此后，仍有研究者在探索这一问题，如 C. Kevin 等利用工作科学项目中机器学习来指导用户图像分类任务的呈现，研究发现用户的科学知识得到了改善，结果与上述结论一致[36]。

第二，科学理解作为对科学规范和科学方法的解读，研究结果逐渐趋于一致。如 D. Trumbull 基于康奈尔鸟类学实验室的种子偏好测试项目，通过定性分析志愿者信件，发现对项目感兴趣、仔细制定和写出假设、以及对实验设计提出修改建议的志愿者，他们对生物学和科学过程的理解得到了提升，然而由于项目不能确定受教育程度低、积极性低或知识较少的参与者是否会参与到项目中，定性的分析结论无法全部归因于公众科学项目，种子偏好测试项目希望更年轻、受教育程度更低的人也可以参与受益[37]。随后，D. Brossard 为得出更具有说服力的结果，再次进行研究，却得到截然相反的结果[29]；R. Jordan 等同样提出志愿者对科学过程的理解并无变化[22]。然而，近几年如 R. Bonney 通过对多个项目的总结得出公众科学对志愿者的科学理解有促进作用[38]；S. Mahajan 等通过一项以非正式教育为主要目标的公众科学环境污染项目，得出志愿者的科学理解确实得到了提升[39]。研究结果逐渐趋于一致。

第三，由于志愿者科学态度的模糊性和复杂性，科学态度的测定相较于前两项更具有挑战性，研究进展也更为缓慢[16,40]。D. Brossard 基于康奈尔鸟屋网络项目(The Birdhouse Network，TBN)，利用可能性模型和经验教育理论框架，该项目对参与者的鸟类生物学知识产生了影响，科学或环境的态度和科学过程的理解在统计上没有显著的变化，作者认为需要设计更敏感的测量工具来评估公民科学态度变化。此后，新型的测量工具对志愿者的科学态度进行了反复测量，取得了

一定的进展，如 J. Westland 基于荷兰 Zoemt 项目，利用 MATS 问卷框架得出的科学态度并不显著，需要更加敏感的工具[34]；C. Hsu 等基于台湾陆蟹项目验证短期培训对科学素养的知识、态度指标的影响，使用一般性评价方法，结论是知识、态度均不显著，利用自行开发的 PPM 地图，这种方法融合了定量和定性的维度，发现知识、态度指标显著提高[23]。

综上所述，现有研究对于科学知识的测量结论基本达成了共识、对于科学理解的测量结论基本趋于统一，而对于科学态度的测量结论却差异较大，这与指标的内涵、参与者自身科学素养以及指标的测量工具开发相关，一方面科学知识更容易量化，科学理解和科学态度前后的变化更加模糊和复杂，同时参与者对于测量工具回答的准确性有待加强；另一方面，目前开发的测量工具敏感性仍有待提高。

4 公众科学项目中科学素养影响因素分析

目前研究中已涉及的相关影响因素主要为任务设计、平台角色分配、平台培训、参与时长、社交行为、参与动机等，主要来自于平台、任务、志愿者维度。笔者将从平台、任务、参与者 3 个维度框架式探索科学素养影响因素模型，这种框架式要素的分类更加开放，可兼顾后期影响因素的纳入，以及现阶段已探索的各因素分类。

4.1 平台层面

在平台层面，如平台培训、平台角色分配等。R. Cronje、C. Price 和 H. Lee、M. Aristeidou 和 H. Christothea 等发现科学家在平台上对志愿者进行培训以后，志愿者的科学知识、科学态度和科学理解可以得到改善[30,32,41]。平台角色指的是志愿者在公众科学项目中所担任的角色，因其任务不同而有所差异，如数据收集者、分析协从者、项目主导者。R. Bonney 根据志愿者在公众科学项目中所担任角色的重要性由低至高将平台角色划分为贡献型、协作型和联合创新型 3 类，研究表明平台角色分配对科学知识、科学方法的影响显著，对科学态度的影响未知[24]。此外，若志愿者发现自己在项目中的角色可由他人替代，参与过程对志愿者科学素养提升的影响有限[38]。

4.2 任务层面

在任务层面，如任务设计等。任务设计是指与志愿者相关且影响志愿者行为的项目框架的设计和规划，具体包括项目任务对志愿者的激励机制和教育目标与科学目标之间的平衡等。项目设计需要考虑教育目标和科学目标之间的平衡，过分重视科学目标，则会牺牲一定的教育目标，使得专业性欠缺的志愿者参与程度降低，不利于公众的科学素养提升[22]；在具体的任务开发中，如荷兰的 ISPEX(the Innovative Way to the Spectropolarimeter for Planetary Exploration)项目设计中加入激励机制会提高志愿者的自我效能感，从而达到改善科学素养的效果[42]。

4.3 志愿者层面

在志愿者层面，如人口统计学特征、参与时长、社交行为和参与动机等。人口统计学特征(如年龄、职业、文化程度、家庭收入等)，如 A. Crall、O. Sagy 等指出诸如教育程度、性别、年龄和宗教信仰等与科学素养改善具有相关性，经济水平中等偏上的家庭参与公众科学项目的群体居多，文化程度越高，学习能力越强，其科学素养改善也较为显著[31,43]；参与时长，在 A. Crall、R. Jordan 指出短暂的参与单个公众科学项目可能仅仅是对志愿者的科学知识有所提升，而科学理解和科学态度的改变则是一个长期的过程[22,31]；社交行为，是指在参与公众科学项目过程中与科学家和其他志愿者之间的交流互动，包括但不限于博客、Twitter 和 Talk 等虚拟社交网络上的交流行为和向项目以外的公众进行的解释行为，如 C. Price 和 H. Lee 等、C. Llorente 等通过实验证实，志愿者参与交流会改善科学态度[32,44]；参与动机包括学习型动机、兴趣型动机等，是影响志愿者科学素养的重要因素之一，需要注意的是，部分学者指出重复的机械参与行为并不能改变科学素养[6,31]。

综上所述，本文框架式地梳理了公众科学情境下科学素养的影响因素类别，目前国外研究并非直接探索科学素养的影响因素，而是对诸如科学知识、科学态度和科学理解等二级指标的影响因素的探索，研究变量更加细粒度，上述研究对于平台、任务、用户层面的因素尚处于探索阶段，有关科学素养的影响因素来源类别及类别下具体的子因素，并未形成较为系统全面的影响因素路径模型，仍有较大的研究空间；其次，现有研究虽已证实平台、任务、用户层面的二级指标因素对科学素养的积极意义，然而如何在实践中组织开展尚待进一步挖掘，如平台培训作为影响科学素养的重要因素，主要由科学家这一发起者承担，科学家培训和科学家参与交流对改善科学素养具有积极作用，但是他们本身并不擅长培训，因此，由谁去给志愿者进行培训，或者由谁给科学家进行培训，是否需要引入第三方

机构进行培训等仍有待验证。

5 我国公众科学情境下科学素养启示

我国非常重视全民科学素养的发展,2006 年国务院颁布了《全民科学素质行动计划纲要(2006－2010－2020 年)》,2020 年作为纲要收官之年,“十三五”规划肯定了全民科学素养行动的阶段性成果,然而,我国科学素养水平距离创新型国家行列仍存在差距。欧盟议会文化教育委员会 2019 年 3 月发布的《作为教育挑战的科学和科学素养》报告,指出下一步科学素养需要关注“基础素养、科学知识与能力、情境化的科学理解、批判性思维、主体与参与”等基础概念,强调“积极参与式、批判性思维、跨度自然科学和人文社科、终生教育、支持创新”等核心关键词。基于上述章节探讨,公众科学情境下科学素养的开展与上述描述具有一致性,因此在我国制定面向 2035 年新一轮公民科学素质提升计划之际,有关公众科学情境下科学素养的探讨对于我国具有指导意义。

公众科学项目作为科学素养提高行之有效的重要途径,具有较强的时代特征,一方面当下科技革新、数字化转型使得公众与科学之间联系更加紧密,另一方面公众知识盈余、参与项目不再受到时空局限,公众科学项目当今蓬勃发展。当前,国外学界在公众科学情境下科学素养的研究上取得了阶段性的研究成果,可以为我国的理论发展和实践探索提供借鉴。鉴于此,笔者总结国际经验,提出我国公众科学项目中志愿者科学素养可以从如下 4 个方面开展后续研究:

5.1 面对的对象

在对象层面,扩大研究对象,将青少年和经济实力较弱的群体作为研究对象。从上文分析中得知,公众科学项目的参与者主要为成年志愿者以及相对比较富裕的群体,有效填补了成年人科学素养教育的不足,却也带来了公众科学项目参与对象属性较为单一的问题。公众科学项目应扩大研究对象,将青少年和经济实力较弱的群体作为研究对象,一方面,与成年人相比,青少年的科学认知还处于发展阶段,其科学素养更容易改变,青少年目前主要接受的是正式教育,公众科学项目的趣味性和激励机制可以作为有效的教育策略,与正式教育的严谨性形成互补[45];其次,公众科学项目可以培养青少年们对于科学的兴趣和积极态度,不仅可以产出科学成果,还可以提高青少年群体的科学素养,激发他们从事科学职业的兴趣。另一方面,经济实力较弱的公众易被边缘化,在推动全民科学素养提升的背景下,我国应该重视对经济能力相对较弱群体科学素养的研究,比如可以探索经济的贫富差异是否对志愿者的科学素养产生影响,以帮助他们提升科学素养。

5.2 利用的工具

在工具层面,加强科学素养评估工具的开发、验证与推广。国外研究的测量工具主要包括标准化测量工具和自行开发的测量工具。标准化测量工具并非针对公众科学情境,更加强调对学生科学知识与能力水平的测量,对于批判性思维、复杂的态度、科学进程理解等指标,测量灵敏性不高,而自行开发的测量工具主要针对特定的公众科学项目而独立开发,虽然测量更加灵敏,却难以应用于其他公众科学项目,导致不同公众科学项目之间无法进行研究结果的推广。在公众科学情境下科学素养如何从现在相对敏锐的自行开发的测量工具,过渡到标准化评估工具的开发、验证与推广,是目前国外学者积极讨论的问题。对我国公众科学项目中志愿者科学素养测量工具而言,可从公众科学情境下科学素养内涵和志愿者培训两方面出发进行设计。首先,公众科学项目中科学素养测量工具的设计受到科学素养内涵和公众科学项目目标的影响。基于现有研究,笔者将科学素养内涵分为泛化的科学素养和具体的科学素养,将公众项目中的目标分为科学目标和教育目标。在科学素养测量工具的设计中,应结合科学素养的内涵和公众科学项目的目标,如针对志愿者具体的科学素养,需要设置更加具体的题项、内容等,开发适合特定情境的测量工具,由于我国目前公众科学情景境下科学素养的研究尚有待探索,学者可以从自行开发测量工具开始,在逐渐成熟的基础上,推演到一般性质的－标准化工具。其次,公众科学项目中科学素养测量的准确性有赖于志愿者的素质。在保证专业的、高质量的公众科学项目的基础上,增强对志愿者的培训,这可以保障志愿者在完成任务后,可以高效地对开发的测量工具进行使用,提高测量的准确性和有效性。

5.3 加强影响机制研究

在因素层面,加强志愿者科学素养影响机制的研究。志愿者科学素养影响因素的研究尚处于探索阶段,不同研究得出的结论并不一致,探究潜在影响因素对志愿者科学素养的影响、因素间的潜在关系以及不同结论产生的原因是未来的研究方向之一。由于文化、教育形式及公众认知等的差异,我国公众科学项目有自己的特点,国外有关公众科学情境下科学素养影

响因素的研究结论并不能直接应用于我国,但可以为我国的相关研究提供借鉴。首先,对于文献中已发现的影响因素,我国研究者可根据已有的项目或者设计相应的项目,验证上述因素的影响效果,并分析背后潜在的机理,以促进该因素对于科学素养的提升作用;其次,对于存在影响的因素,可进一步探究该因素和其他因素以及科学素养变化之间的数学模型,系统化的构建影响关系模型;此外,我国研究者还应考虑中国公众科学项目的特点,进一步探究文献中未发现的科学素养影响因素,通过引入信息学、教育学、行为学等有关理论,从理论角度建立系统的完备的科学素养影响机制。

5.4 重视外部环境

在外部环境层面,重视高校科研院所、图书馆、社会组织、政府机构等的合作参与。目前,高质量有影响力的公众科学项目均具有跨国家、跨实验室、跨学科和跨机构特点,如超过半数以上的国家都与美国有合作关系,形成了较为稳定的公众科学项目开发阵营;在实验室合作上,以美国康奈尔大学为中心,形成科伦多州立大学、威斯康星大学等高校在内的强有力的作者合著网络,研究成果较为系统,研究方向大体一致;在项目发起者合作上,政府机构重在引导保障,形成高校科研院所、图书馆和社会组织等各自的分工体系。为建立高质量、持续的公众科学项目,我国公众科学情境下科学素养的培养应加强多方合作。在以政府机构、政策等保障的基础上,高校图书馆作为纽带,协调高校科研院所、社会组织等。其一,科研机构更多的是关注科学目标和任务效果,科研机构并不擅长对用户的教育培训、对科学素养的测量以及以教育为目标的项目内容的开发;其二,图书馆作为非正式学习的重要空间,高度关注公众科学项目的开展和用户科学素养的培养,可以作为连接科研机构、社会组织的重要纽带。此外,图书馆拥有庞大的用户基础、科学数据管理经验、信息素养用户培训经验以及丰富的信息资源,有能力在公众科学项目的科学素养教育中承担重要责任。

参考文献:

[1] SIAROVA H, STERNADEL D, SZÖNYI E. Research for CULT committee-science and scientific literacy as an educational challenge[R]. Belgium Brussel: European parliament, policy department for structural and cohesion policies, brussels, 2019.

[2] 王春丽,顾小清.中学生信息技术使用及其对科学素养的影响——基于PISA数据的中芬比较研究[J].中国远程教育,2019(5):47-56.

[3] 严晓梅,万青青,高博俊,等.数字化转型视域下欧盟科学素养培养新动向——《作为教育挑战的科学和科学素养》报告解读与启示[J].开放教育研究,2020,26(4):37-44.

[4] WANG Y, LAVONEN J, TIRRI K. An assessment of how scientific literacy-related aims are actualised in the National Primary Science curricula in China and Finland[J]. International journal of science education, 2019, 41(11): 1435-1456.

[5] KELLING S, JOHNSTON A, BONN A, et al. Using semistructured surveys to improve citizen science data for monitoring biodiversity[J]. BioScience, 2019, 69(3): 170-179.

[6] JENNETT C, KLOETZER L, SCHNEIDER D, et al. Motivations, learning and creativity in online citizen science[J]. Journal of science communication, 2016, 15(3):1-23.

[7] RADDICK M J, PRATHER E E, WALLACE C S. Galaxy zoo: science content knowledge of citizen scientists[J]. Public understanding of science, 2019, 28(6):636-651.

[8] IRWIN A. Constructing the scientific citizen: science and democracy in the biosciences[J]. Public understanding of science, 2001,1(10): 1-18.

[9] CHAI Y, MIAO C, SUN B, et al. Crowd science and engineering: concept and research framework[J]. International journal of crowd science, 2017,1(1): 2-8.

[10] ZENG Q, WEI Q, LEI G. Contribution of citizen science towards cryptic species census: 'many eyes' define wintering range of the scaly-sided merganser in Mainland China[J]. Avian research, 2018,1(9):1-10.

[11] 赵宇翔,刘周颖,刘炜,等.创意类开放数据竞赛作品评价指标体系构建与测定——以数字人文项目为例[J].中国图书馆学报,2020,46(2):75-95.

[12] 刘炜,谢蓉,张磊,等.面向人文研究的国家数据基础设施建设[J].中国图书馆学报,2016,42(5):29-39.

[13] 赵宇翔.科研众包视角下公众科学项目刍议:概念解析、模式探索及学科机遇[J].中国图书馆学报,2017,43(5):42-56.

[14] 金瑛,张晓林,胡智慧.公众科学的发展与挑战[J].图书情报工作,2019,63(13):28-33.

[15] 钟启泉.国外"科学素养"说与理科课程改革[J].比较教育研究,1997(1):16-21.

[16] MILLER J D. Scientific literacy: a conceptual and empirical review[J]. Daedalus, 1983,112(2),29-48.

[17] MILLER J D. Public understanding of, and attitudes toward, scientific research: what we know and what we need to know[J]. Public understanding of science, 2004,9(13):273-294.

[18] PELLA M O, OTHERS A. Scientific literacy in the aerospace age[R]. America Wisconsin Medison: Citizenship responsibility, 1966.

[19] SHEN B S P. Science literacy and the public understanding of science[M]//DAY S B. Communication of scientific information. Basel: Karger Publishers, 1975: 44-52.

[20] LAUGKSCH R C. Scientific literacy: a conceptual overview[J]. Science education, 2000, 84(1):71-94.

[21] MAIENSCHEIN J. Commentary: to the future - arguments for scientific literacy[J]. Science communication, 1999,1(21): 75-87.

[22] JORDAN R, GRAY S, HOWE D V, et al. Knowledge gain and behavioral change in citizen-science programs[J]. Conservation biology, 2011, 25(6): 1148-1154.

[23] HSU C, CHANG Y, LIU C. Can short-term citizen science training increase knowledge, improve attitudes, and change behavior to protect land crabs? [J]. Sustainability, 2019, 11(14):1-15.

[24] BONNEY R, BALLARD H, JORDAN R, et al. Public participation in scientific research: defining the field and assessing its potential for informal science education. a caise inquiry group report [J]. Online submission, 2009,7(1):58-70.

[25] PITT A, SCHULTZ C A, VASKE J J. Engaging youth in public lands monitoring: opportunities for enhancing ecological literacy and environmental stewardship. [J]. Environmental education research,2019,9(25):1386-1399.

[26] SCHNEIDERHAN-OPEL J, BOGNER F X. FutureForest: promoting biodiversity literacy by implementing citizen science in the classroom[J]. The American biology teacher, 2020, 82(4): 234-240.

[27] KLOETZER L, COSTA J D, SCHNEIDER D. Not so passive: engagement and learning in volunteer computing projects[J]. Human computation, 2016, 1(3): 25-68.

[28] SILVA P D D, HEATON L. Fostering digital and scientific literacy: Learning through practice[J]. First Monday, 2017, 22(6): 21-37.

[29] BROSSARD D, LEWENSTEIN B, BONNEY R. Scientific knowledge and attitude change: the impact of a citizen science project [J]. International journal of science education, 2005, 27(9): 1099-1121.

[30] CRONJE R, ROHLINGER S, CRALL A W, et al. Does participation in citizen science improve scientific literacy? a study to compare assessment methods[J]. Applied environmental education & communication, 2011, 10(3): 135-145.

[31] CRALL A W, JORDAN R, HOLFELDER K, et al. The impacts of an invasive species citizen science training program on participant attitudes, behavior, and science literacy[J]. Public understanding of science, 2013, 22(6): 745-764.

[32] PRICE C A, LEE H S. Changes in participants' scientific attitudes and epistemological beliefs during an astronomical citizen science project[J]. Journal of research in science teaching, 2013, 50(7): 773-801.

[33] CRONIN D P, MESSEMER J E. Elevating adult civic science literacy through a renewed citizen science paradigm[J]. Adult learning, 2013, 24(4): 143-150.

[34] WESTLAND J H. The effect of a citizen science project conducted in the classroom on students age 9-13 on attitudes towards science and connection to nature[D]. Netherlands Utrecht: Utrecht University, 2019.

[35] EVANS C, ABRAMS E, REITSMA R, et al. The Neighborhood Nestwatch program: participant outcomes of a citizen - science ecological research project[J]. Conservation biology, 2010, 19(3): 589-594.

[36] CROWSTON K, Østerlund C, LEE T K, et al. Knowledge tracing to model learning in online citizen science projects[J]. IEEE transactions on learning technologies. 2019,1(13):123-134.

[37] TRUMBULL D J, BONNNEY R, BASCOM D, et al. Thinking scientifically during participation in a citizen-science project[J]. Science education, 2000, 84(2):265-275.

[38] BONNEY R, PHILIPS T B, BALLARD H L, et al. Can citizen science enhance public understanding of science? [J]. Public understanding of science, 2016,25(1):2-16.

[39] MAHAJAN S, KUMAR P, PINTO A, et al. A citizen science approach for enhancing public understanding of air pollution[J]. Sustainable cities and society, 2020,11(52): 101-180.

[40] WOLFSON K B. Citizen science: a tool for scientific discovery and influencing science attitudes in museums[D]. America Boulder Colorado: University of Colorado at Boulder, 2015.

[41] ARISTEIDOU M, HERODOTOU C. Online citizen science: a systematic review of effects on learning and scientific literacy[J]. Citizen science: theory and practice, 2020,5(1):1-12.

[42] LAND-ZANDSTRA A M, DEVILEE J L A, SNIK F, et al. Citizen science on a smartphone: participants' motivations and learning [J]. Public understanding of science, 2016, 25(1): 45-60.

[43] SAGY O, GOLUMBIC Y N, ABRAMSKY B H, et al. Citizen science: an opportunity for learning in the networked society[M]// KALI Y, BARAM-TSABARI A, SCHEJTER A M. Learning in a networked society. Gewerbestrasse Cham: Springer, 2019: 97-115.

[44] LLORENTE C, REVUELTA G, CARRIÓ M, et al. Scientists' opinions and attitudes towards citizens' understanding of science and their role in public engagement activities[J]. Plos one, 2019, 11(14):1-20.

[45] VIANNA N, LOBAO C, AGUIAR M, et al. Citizen science and literacy scientific: public engagement strategies in urban air pollution[J]. Environmental epidemiology, 2019,12(3): 413-432.

作者贡献说明：

徐孝娟：主要完成内容撰写、数据分析及结论概括；
吴曼丽：主要完成理论分析；
邓金雨：主要完成数据分析；
赵宇翔：主要完成结论分析。

The Preliminary Exploration on Scientific Literacy Based on Citizen Science and Its Enlightenment to China

Xu Xiaojuan[1] Wu Manli[2] Deng Jinyu[1] Zhao Yuxiang[3]
[1] School of Management, Anhui University, Hefei 230039
[2] Journalism and Information Communication School, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074
[3] School of Economics and Management Nanjing, University of Science and Technology, Nanjing 210093

Abstract: [**Purpose/significance**] This paper analyzed and summarized the existing studies abroad, aiming at clarifying the concepts, theories, tools and methods, and influencing factors of scientific literacy in the context of citizen science, and provided guidance for the development of relevant studies in China. [**Method/process**] We identify the current scientific literacy based on citizen science of related theoretical results by the method of the theme of content analysis. [**Result/conclusion**] The results show that the concepts of scientific literacy in citizen science context can be divided into "general literacy " and "specific literacy". The measurement indicators of scientific literacy mainly focus on the dimensions of knowledge, understanding and attitude, and the methods involve qualitative, quantitative and mixed methods. In order to improve the sensitivity of measurement, the theories in pedagogy, behavioral science and information science are introduced to develop measurement tools. The balance between scientific goals and educational goals is a dynamic development process, and the influence path of scientific literacy has not yet formed a systematic framework. The literature review enlightens that the development of scientific literacy in the context of citizen science in China can concentrate on the participants, measurement tools, influencing factors and the external environment.

Keywords: citizen science scientific literacy educational goals scientific goals informal education